

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-102083

(43)公開日 平成5年(1993)4月23日

(51)Int.Cl.<sup>3</sup>  
H 01 L 21/302

識別記号 庁内整理番号  
B 7353-4M

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 4(全 7 頁)

(21)出願番号 特願平3-260376  
(22)出願日 平成3年(1991)10月8日

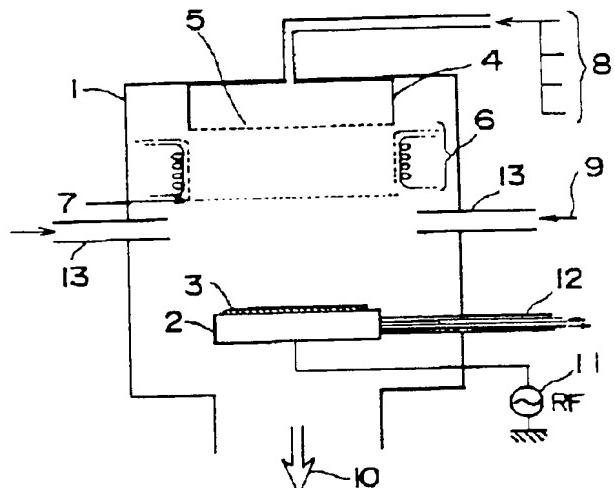
(71)出願人 000003078  
株式会社東芝  
神奈川県川崎市幸区堀川町72番地  
(72)発明者 関根 誠  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝総合研究所内  
(72)発明者 堀岡 啓治  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝総合研究所内  
(72)発明者 岡野 崔雄  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝総合研究所内  
(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦

(54)【発明の名称】 ドライエッチング方法及びそのための装置

(57)【要約】

【目的】マイクロローディング効果をなくし、また、照射損傷が少なく、良好なエッチング形状の得られるドライエッチング方法及び装置を提供すること。

【構成】反応性元素を含むガスを、高圧領域から低圧領域に吹き出させることにより、クラスタ状原子集団を形成する工程、形成されたクラスタ状原子集団をイオン化する工程、及びイオン化されたクラスタ状原子集団を被処理体に照射することにより被処理体を選択的にエッティングする工程を具備するドライエッチング方法。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 反応性元素を含むガスを、高圧領域から低圧領域に吹き出させることにより、クラスタ状原子集団を形成する工程、形成されたクラスタ状原子集団をイオン化する工程、及びイオン化されたクラスタ状原子集団を、被処理体に照射することにより該被処理体を選択的にエッチングする工程を具備するドライエッチング方法。

【請求項2】 反応性元素を含むガスを、高圧領域から低圧領域に吹き出させることにより、クラスタ状原子集団を形成する工程、形成されたクラスタ状原子集団をイオン化する工程、イオン化されたクラスタ状原子集団に、交番電界又は交番磁界、又はその双方を印加する工程、及びイオン化されたクラスタ状原子集団を、被処理体に照射することにより該被処理体を選択的にエッチングする工程を具備するドライエッチング方法。

【請求項3】 反応容器と、この反応容器より高い圧力に維持され、反応性元素を含むガスを収容するガス溜めと、このガス溜めの出口に設けられ、ガス溜めから反応容器内にガスを吹き出し、該ガスの原子で構成されるクラスタ状原子集団を生成するノズルと、該クラスタ状原子集団をイオン化する手段と、イオン化したクラスタ状原子集団を引き出し、反応容器内に収容された被処理体に照射するための加速手段とを具備することを特徴とするドライエッチング装置。

【請求項4】 反応容器と、この反応容器より高い圧力に維持され、反応性元素を含むガスを収容するガス溜めと、このガス溜めの出口に設けられ、ガス溜めから反応容器内にガスを吹き出し、該ガスの原子で構成されるクラスタ状原子集団を生成するノズルと、該クラスタ状原子集団をイオン化する手段と、イオン化されたクラスタ状原子集団に、交番電界又は交番磁界、又はその双方を印加する手段と、イオン化したクラスタ状原子集団を引き出し、反応容器内に収容された被処理体に照射するための加速手段とを具備することを特徴とするドライエッチング装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【発明の目的】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明はドライエッチング方法及びそのための装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 従来、半導体素子製造プロセス微細加工において、広く用いられているドライエッチング装置の概略構成断面図を図4に示す。図4において、カソード102には高周波電力111が印加され、反応ガスが導入された反応容器101内にプラズマ104を生成する。また、カソード102上にはウェハ103が配置され、アノード102(ウェハ103)表面に誘起された自己バイアスにより、該プラズマ中から反応性イオン1

05が加速され、そのウェハ103への衝撃によりエッチング反応が進行する。この自己バイアスの電圧は、ガス、RF電力などの個々の条件、電極の形状、カソード、アノードの電極面積比に応じて変化するが、実用的な装置の構成では、通常100eVから500eV程度の加速電圧が誘起されることとなる。

【0003】 このような構成のいわゆる反応性イオンエッチング装置は、半導体の微細加工に多大な貢献を果たしたことは周知のことである。しかし、微細化が著しく進み、このような優れた装置でも、今後のデバイスの製作には以下のようないかん問題点がある。

【0004】 まず、問題点の1つは、照射損傷の問題である。MOSデバイスの活性部であるゲート部分の加工において、あるいはゲート電極と電気的に接続されている部分の加工において、高いエネルギーのイオンが衝撃する事により、種々の損傷が発生する。例えば、反応容器内壁の金属がスパッタ作用によって気相に放出され、それがゲート部分に注入される。これにより、新たに不純物順位が形成され、素子の動作特性が変化してしまう。

【0005】 また、エッチング中には、ウェハは直流電気的にはどこにも接続されておらず、フローティング

(浮遊) 状態になっている。従って、プラズマからの電子、イオン、あるいは二次電子放出により、ゲート電極に電荷が蓄積され、それが顕著な場合には、ゲート絶縁膜の破壊を引き起こす。近年は、この絶縁膜も少ない面積で大きな容量を得るために、極めて薄いもの(例えば50オングストロームのSiO<sub>2</sub>膜は5V程度の電位が印加されただけで破壊する場合がある。)が使用されており、破壊され易い。これらは、すべて荷電粒子を照射することによってエッチングを進めるこの方式の原理から生じるものであり、原理的に不可避である。

【0006】 このような電荷の帶電は、それ以外にエッチング形状の異常を引き起こすことがある。すなわち、図5のパターンの断面模式図に示すように、パターンのあまり存在しない部分118に隣接する、パターンの密に存在する部分117の端部パターン119は、図のように側壁がテーパ状(下部になるにつれパターン幅が広くなる)あるいは逆テーパ状(下部になるほどパターン幅が狭くなる)になることがある。これは、図6に示すように、個々のパターンが帶電し、基板に対してプラスの電位となり、入射するイオンの軌跡が曲げられた結果と考えられる。この帶電現象は、まだ良く理解されておらず、現状の技術では、容易には解決できない。他の問題点は、マイクロローディング効果と呼ばれる現象である。

【0007】 図7に、厚い被エッチング膜122をエッチングしたときの断面概略図を示す。なお、下地基板は省略されている。マスク121の間隔を変化させてエッチング速度を調べたところ、次の結果を得た。例えば、多結晶シリコン等の膜122を塩素あるいはフッ化系の

ガスでエッチングすると、溝幅が狭くなるほど、エッチング速度が低いことが分かる。これをマイクロローディング効果と呼び、微細溝エッチング時の大きな問題となっている。

【0008】マイクロローディング効果の原因は、複数の要素が絡んだもので単純ではない。その主要な原因是、エッチングを促進するイオンの単位面積当たりの入射量が幅が狭いほど少なくなることによるものと考えられる。プラズマ中では、イオンは、主に熱運動によるランダム運動と、弱い電界による緩やかな運動をしていたが、一般にはシート内で、マイアス電圧により加速され、ウェハに垂直に入射するとされている。しかしながら、実際は斜めの成分をもってウェハを衝撃するイオンも多い。そのため、パターンの開口幅が狭くなるほど、溝が深くなるほど、エッチング面である底部まで到達するイオン量が減少する結果となる。更に、エッチング種である中性の活性種（主にプラズマ中で解離したハロゲン元素）はプラズマから、拡散、熱運動だけでウェハへ供給される。従って、ウェハへの入射角度分散が大きく、狭く、深い溝ほど供給量が少くなり、エッチング速度が低減する。

【0009】低圧力化によりイオンの方向性をそろえマイクロローディング効果を低減することも試みられているが、低圧力化に伴い、プラズマ密度の低下によりエッチング速度が低下し、かつイオンエネルギーが増大して照射損傷の増加あるいは選択比の低下を招き、本質的な解決には至らない。

#### 【0010】

【発明が解決しようとする課題】このように、従来のドライエッチング方法及び装置では、パターンの幅に応じてエッチング速度が変化するいわゆるマイクロローディング効果が生じ易い。また、高エネルギー粒子の衝撃による照射損傷の発生、基板の帶電によるパターン形状の異常が発生し易く問題となっていた。

【0011】本発明は、前記実状に鑑みてなされたもので、マイクロローディング効果をなくし、また、照射損傷が少なく、良好なエッチング形状の得られるドライエッティング方法を提供することを目的とする。本発明の他の目的は、上記ドライエッティング方法を実施するために使用されるドライエッティング装置を提供することにある。

#### 【発明の構成】

#### 【0012】

【課題を解決するための手段】このような課題を解決するため、本発明は、反応性元素を含むガスを、高圧領域から低圧領域に吹き出させることにより、クラスタ状原子集団を形成する工程、形成されたクラスタ状原子集団をイオン化する工程、及びイオン化されたクラスタ状原子集団を被処理体に照射することにより該被処理体を選択的にエッチングする工程を具備するドライエッティング

方法を提供する。

【0013】また、本発明は、反応性元素を含むガスを、高圧領域から低圧領域に吹き出させることにより、クラスタ状原子集団を形成する工程、形成されたクラスタ状原子集団をイオン化する工程、イオン化されたクラスタ状原子集団に、交番電界又は交番磁界、又はその双方を印加する工程、及びイオン化されたクラスタ状原子集団を被処理体に照射することにより該被処理体を選択的にエッチングする工程を具備するドライエッティング方法を提供する。

【0014】更に本発明は、反応容器と、この反応容器より高い圧力に維持され、反応性元素を含むガスを収容するガス溜めと、このガス溜めの出口に設けられ、ガス溜めから反応容器内にガスを吹き出し、該ガスの原子で構成されるクラスタ状原子集団を生成するノズルと、該クラスタ状原子集団をイオン化する手段と、イオン化したクラスタ状原子集団を引き出し、反応容器内に収容された被処理体に照射するための加速手段とを具備することを特徴とするドライエッティング装置を提供する。

【0015】更にまた本発明は、反応容器と、この反応容器より高い圧力に維持され、反応性元素を含むガスを収容するガス溜めと、このガス溜めの出口に設けられ、ガス溜めから反応容器内にガスを吹き出し、該ガスの原子で構成されるクラスタ状原子集団を生成するノズルと、該クラスタ状原子集団をイオン化する手段と、イオン化したクラスタ状原子集団に、交番電界又は交番磁界、又はその両方を印加する手段と、イオン化したクラスタ状原子集団を引き出し、反応容器内に収容された被処理体に照射するための加速手段とを具備することを特徴とするドライエッティング装置を提供する。

【0016】なお、ここで、被処理体を選択的にエッチングする工程とは、被処理体表面の所定の領域を選択的にエッチングする工程や、被エッチング材料を下地材料に対して選択的にエッチングする工程を意味する。

【0017】このように、本発明の方法及び装置は、緩く結合した10-数1000個の反応性原子の塊（クラスタ）を帶電させ、低い加速エネルギーで引き出すクラスタイオンビームを形成、被エッチング基板まで分散少なく輸送し垂直に照射しエッティングを行うものである。

【0018】本発明に使用される反応性元素としては、ハロゲン、酸素、水素、窒素を挙げることが出来る。また、反応性元素として複数の異種元素を用い、クラスタ状原子集団を複数種生成し、それらを同時に、個々に、又は一定の周期で交互に、被処理体に照射することが出来る。この場合、異種元素の構成比を任意に設定することが可能である。なお、被処理体表面での化学反応を制御するため基板の温度制御機能を有することが好ましい。

【0019】

【作用】本発明に応用したクラスタイオンビーム技術

は、以前から成膜技術に使うことを目的に開発が進められてきた。従って、その生成と制御技術自体はすでにある程度確立（参考文献：高木、応用物理 Vol.55 No.8 P.746(1986)）されてきているが、エッチング技術に応用されたのは本発明が初めてである。

【0020】本発明では、垂直に照射されるクラスタイオンビームを使用することにより、必要なエッチングガスを、微細な溝の中まで、その溝幅に係わらず常に同じ量だけ供給することが可能である。従って、ビのパターンも同じエッチング速度、形状に加工することが可能になる。

【0021】クラスタイオンビームは、多くの原子の塊が1価あるいは数価程度に帶電するため、供給される原子の数に対し実質的に基板に与える電荷量が少なく基板の帶電自体が発生しにくい。そのため、絶縁物のマスク材あるいは被エッチング膜の帶電により入射イオンが曲げられて生じると考えられるエッチング形状の異常が発生することがない。

【0022】更に、同様な理由により、たとえ数キロボルトにビームを加速して基板に照射しても個々の原子の持つエネルギーは極めて低く、照射損傷が低減される。このように高い電圧でビームを加速できるためには分散の少ない方向性の良いビームを垂直にウェハに照射することが可能となる。従って、溝幅に係わらず、同じ密度でエッチングの進む面に原子を供給できる。また、加速が高く質量も大きいため、（たとえ基板が帶電したとしても）基板の帶電の作用を受けにくい。更にまた、高精度加工のため比較的低い圧力を使用しても、エッチング面に多くのエッチング種を供給できるため高速なエッチングが可能となる。

### 【0023】

【実施例】以下、図面を参照して、本発明の実施例について説明する。

【0024】図1は、本発明の一実施例に係るエッチング装置を概略的に示す図である。図1において、真空容器1内にはサセプタ2が配置され、その上にウェハ3が載置されている。真空容器1の上部には、エッチングに使用する反応性ガスを導入するガスリザーバ4が設けられ、このガスリザーバ4の出口には、ガスを吹き出し、クラスタを生成するためのノズルが多数形成されているノズル板5が取り付けられている。このノズル板5の下には、クラスタをイオン化するための電子供給源である熱フィラメント電子銃6、及びイオン化したクラスタを加速するための電極7が配設されている。なお、参考符号8、9はガスの供給系、10は真空排気される方向を示している。また、サセプタ2には、電力供給系11によりバイアス電力が印加され、かつ温度制御装置につながる配管12を通して基板温度の制御がなされる。次に、以上説明したエッチング装置による、実際のエッチングの手順を説明する。

【0025】ウェハ3は、（図示しない）ロードロック機構により、真空容器1内のサセプタ2上に搬送される。本発明では、高い真空中でのプロセスを可能とするため、ロードロック機構は不可欠である。ガスの断熱膨張を利用しクラスタを効率よく形成するために、真空容器1内ヒザーパ4内の圧力差（圧力比）を $10^{-4} \sim 10^{-5}$ Torrとする必要がある。一方、エッチングは、ガスの平均自由行程の充分長い、 $10^{-4}$ Torr台以下で行うとよい。そこで、容器内を充分真空排気した後、リザーバ3に反応性ガス、例えば塩素（C12）を放Torrの圧力まで導入する。

【0026】ノズル5の直径は1mm程度とし、真空容器内を排気することで $10^{-4}$ Torr台に保つ。ノズル5を通過した反応性ガスは、断熱膨張により急激に冷却され、クラスタが形成される。このクラスタは電気的に中性であるため、ここで、熱フィラメント電子銃6から放出された電子ビームによりイオン化される。ここでは、数千の原子で構成される一つのクラスタについて一価、二価程度の電荷を与えるだけであり、従って、実質的に原子一個あたりの電荷は極めて少ない。

【0027】イオン化されたクラスタは、電極7ヒザーパ4の間に印加された電圧により加速され、メッシュ状の電極7を通過し、ウェハ3表面に照射される。イオンの加速電圧は、100eV～数KeV程度の範囲内において、個々のプロセスや被エッチング材料に応じて、適宜選択することが出来る。

【0028】このように加速されたクラスタは、たとえ加速電圧が1KeVであっても、1000個の原子集団であれば、個々の原子の実質的な加速電圧は1eVであり、照射損傷など一切心配ない極めて低い値である。従って、損傷を気にすることなく、高い加速でビームを照射でき、クラスタビームの方向性を極めて良く制御できる。つまり、溝の幅によらず一定量のエッチング種（クラスタ）をエッチング面まで供給でき、マイクロコーディング効果がなくなる。

【0029】更に、比較的低圧下でエッチングを行うが、多くのエッチング種をエッチング面へ供給するため、高速のエッチングが可能となる。実際に、塩素ガスを使用し、表面にSiO<sub>2</sub>等のマスクが形成されたシリコン基板をエッチングした時の溝幅に対するエッチング深さを調べた結果を図2に示す。比較に用いたRIEは、ごく一般に使用されている平行板型で、塩素ガス圧力2mTorrの下で行なった。クラスタビームは、図1の装置でガス圧力0.1mTorrの下で行った。ここで、ビーム照射は、基板全面に対して行なった。Y軸のエッチング深さは充分広い溝でのエッチング深さを1として、それぞれの場合について規格化したものである。

【0030】図2から明らかなように、通常のRIEでは、0.5μm以下の溝幅で急激にエッチング深さが低

下するが、クラスタビームではその減少は少ない。また、エッチング形状の評価の結果、帶電が原因と考えられるパターンのデータ化は全く観察されないことがわかつた。また、照射損傷の評価では、試作装置では、金属部の露出が多く、金属汚染の低減は達成されなかつたが、絶縁破壊、トランジスタのしきい値変化等の電気的損傷については、レマーレンスの（中性の活性種だけでエッチングを行う）ダウンプロセス装置と同様、何の損傷も認められなかつた。次に、本発明の他の実施例について説明する。

【0031】図1において参考符号13は、ノズルを通して他のガス9を導入するためのガス導入口である。このガス導入口13から他のガス9を導入することにより、例えば、気相中の中性のエッチング種、あるいはエッチング生成物をスカベンジ（排除）し、等方性のエッチングを防いだり、エッチング生成物の再付着を防止することができる。具体的には、反応ガスとして塩素ガスを用い、エッチングを行なう場合、ガス導入口13から水素や水素を含むガスを導入することにより、クラスタ化していない、又はクラスタビームが基板に衝撃後分解し発生した塩素原子が、等方性のエッチングをすることを妨げることが出来る。ガス導入口13の手前にガスを活性化する手段を設けることにより、上述の作用を更に促進することができる。

【0032】基板3のサセプタ2上への固定方法は、温度制御の点から静電チャックが有効である。しかし、基板に直流を印加する場合は、マイチャックを使用する必要がある。図3は、本発明の更に他の実施例に係るエッチング装置を示す図である。

【0033】図3に示すエッチング装置では、リザーバ4は、紙面に垂直方向にウェハの直径より長い構造を有し、帯状のクラスタビームを形成する。形成されたクラスタは、イオン化のための電子雲14内に入る。この電子雲14の電子は、電子源6によりプラズマ20から引き出される。この場合、電子のエネルギーは、イオン化効率の良い100eV前後に設定される。

【0034】イオン化したクラスタは、メッシュ状の引き出し電極7をぬけて偏向電極15間に流入する。ここで、帯状のクラスタビームは、偏向電極15により形成された交番電界Eによって紙面上左右に走査される。参考符号23は、あるクラスタビームの軌跡を模式的に示したものである。また、この偏向電極15は、電界16と直行する交番磁界22を与えることにより、マスフィルタの作用を持たせることができる。即ち、ウェハ3に照射されるクラスタの質量を適当に選択することが可能となり、粒子数の少ないクラスタを除去する等のエッチング種の制御ができる。

【0035】偏向されたヒームは加速電極17、18でウェハ3の面に垂直方向に加速され、ウェハ3に照射される。ここで、加速電極17は、引き出し電極7と同電位に、更にリザーバ4や電子源の電極14に対し100V程度の加速をするように設定する。また、偏向電極15に対し、引き出し電極7の電位を中心に振れる交番電位を与えると、電極間の相互作用が少なく済み、ビームの乱れが少ないのである。加速電極18には、加速電極17に対しマイナス数100～数1000Vの電圧を印加し、角度分散の小さい方向性の良いクラスタビームをウェハ3に供給する。

【0036】このように、本発明のエッチング方法では、クラスタビームの加速が高いこと、及びクラスタの1原子当たりの電荷が少ないとことから、ウェハ3の帶電は少なく、ビームも影響を受けにくいという特徴があるが、更に、帶電防止として低速電子源19からウェハ3に電子を与えることが可能である。また、導電性の膜のエッチングでは、ウェハ3に直流電圧を与えることにより、形状、エッチング特性の制御が可能である。

【0037】以上、本発明の実施例を示したが、本発明はこれら実施例に限定されることなく、種々の変形が可能である。例えば、以上の実施例では、クラスターイオノビームの照射を、マスクが形成された基板全面に対して行なったが、マスクを用いて選択的な照射を行なうことも可能である。また、上記実施例に係る装置では、リザーバ、ノズル、引き出し電極、ウェハが上方から下方へと直線上に配置されているが、ノズルや電極からの汚染を考慮して、引き出し電極より上の部分は、真空容器側面に配置することもできる。また、各部の材料はエッチングする材料をも考慮し、金属、有機物汚染のないように選択しなければならない。また、ノズル付近では、ガスが断熱膨張し、冷却されクラスタ化するため、ノズル板の温度は徐々に低下する。これは、プロセスの経時変化の原因となる。したがって、ノズル板にヒータ等により温度を制御する機構をつけるとよい。また、反応容器全体も温度制御することが好ましい。

【0038】更に、ノズルは複数種類のガスに対して、それぞれ複数個のノズルを用意し、それぞれのガスを独立に反応容器に導入し、クラスタ化してもよい。複数の異なったガスは、それぞれノズルからパルス状に放出され、その周期を同期あるいは非同期させる手段を設けてよい。また、ノズルには、圧電素子からなるピエゾバルブを設け、高速に開閉を繰り返す機構を設置することも可能である。更にまた、被エッチング基板に低速電子ビームを照射する手段を設けることも、被エッチング基板付近にプラズマを形成する手段を設けることも可能である。

【0039】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の方法によれば、1原子当たりの電荷が少なく、高く加速されたクラスターイオノビームを照射してエッチングするため、微細パターンのエッチングをマイクロローディング効果なしに、良好なエッチング形状をもって行うことが可能で

9

ある。また、高エネルギーに起因する照射損傷や、チャージアップによるパターン形状の異常を生ずることなく、加工することが可能となる。更に、低真空での加工が可能なため、中性の活性原子によって生じるアインダカットが発生することもない。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例に使用されるエッティング装置を概略的に示す図。

【図2】 本発明の一実施例に係るエッティング方法におけるエッティング溝幅とエッティング深さとの関係を、RIEと比較して示す特性図。

【図3】 本発明の他の実施例に使用されるエッティング

装置を概略的に示す図。

【図4】 従来のエッティング装置を概略的に示す図。

【図5】 従来のエッティング方法の問題点を説明するための図。

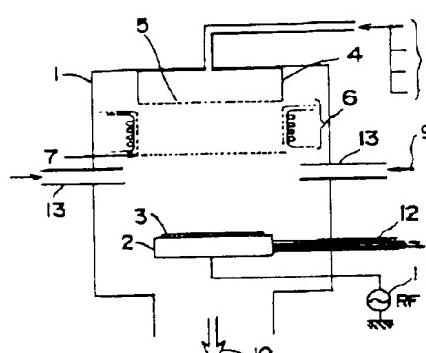
【図6】 従来のエッティング方法の問題点を説明するための図。

【図7】 従来のエッティング方法の問題点を説明するための図。

【符号の説明】

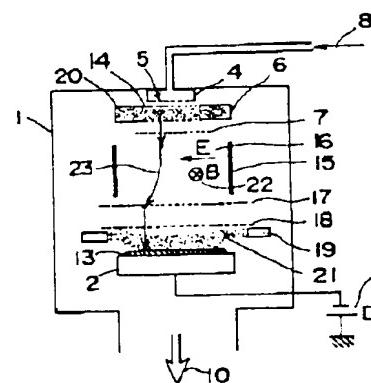
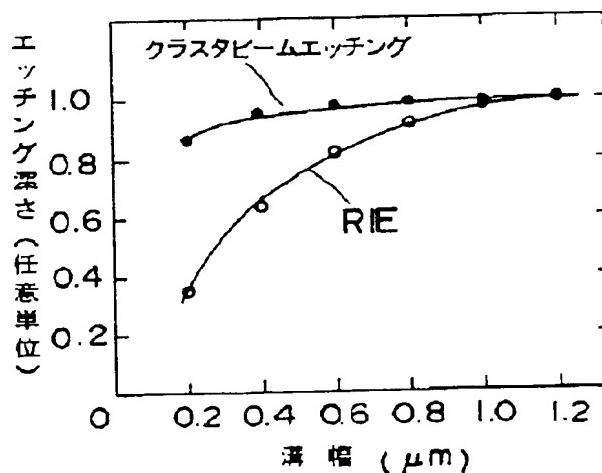
1…真空容器、2…セラミック、3…ウエハ、4…ガスリザーバ、5…ノズル板、6…熱フィラメント電子銃、7…電極、8…ガスの供給系、

【図1】

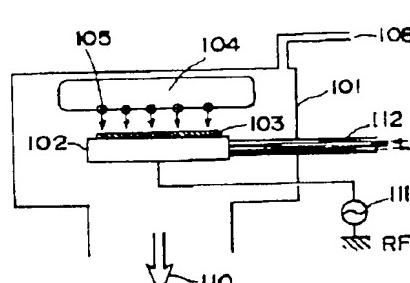


【図3】

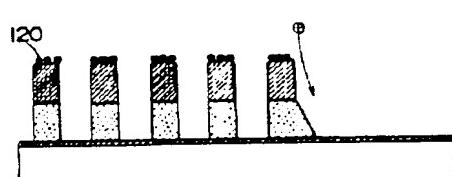
【図2】



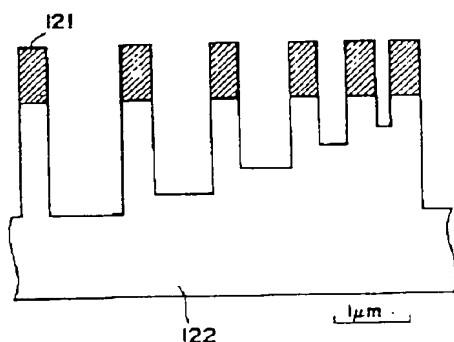
【図4】



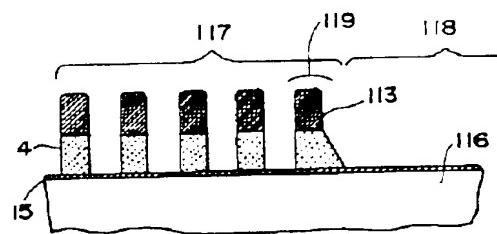
【図6】



【図7】



【図 5】



[Designation of Document] SPECIFICATION

[Title of the Invention] DRY ETCHING METHOD AND APPARATUS

THEREFOR

[Name of Document] ABSTRACT

[Abstract]

[Purpose] To provide a dry etching method and apparatus that enable to eliminate micro-loading effect, to make bombardment damage less, and to obtain an excellent etching shape.

[Constitution] A dry etching method comprising forming clusters of agglomerations of atoms by ejecting a gas including a reactive element from a high pressure region to a low pressure region, ionizing the generated clusters of agglomerations of atoms, and bombarding the ionized clusters of agglomerations of atoms onto an object to be treated and thereby selectively etching the object to be treated.

[Claims]

[Claim 1] A dry etching method including: forming a cluster of agglomerations of atoms by ejecting a gas ,including a reactive element from a high pressure region to a low pressure region; ionizing the generated cluster of agglomerations of atoms; and bombarding the ionized cluster of agglomerations of atoms onto an object to be treated and thereby selectively etching the object to be treated.

[Claim 2] A dry etching method including: forming a cluster of agglomerations of atoms by ejecting a gas including a reactive element from a high pressure region to a low pressure region; ionizing the generated cluster of agglomerations of atoms; applying an alternating electric field or an alternating magnetic field, or both of the alternating electric field and the alternating magnetic field to the ionized cluster of agglomerations of atoms; and bombarding the ionized cluster of agglomerations of atoms onto an object to be treated and thereby selectively etching the object to be treated.

[Claim 3] Dry etching apparatus characterized in comprising a reaction chamber; a gas reservoir that is maintained at a pressure higher than that of the reaction chamber and accommodates a gas including a reactive element; a nozzle that is disposed at an outlet of the gas reservoir, ejects the gas from the gas reservoir into the reaction chamber, and

generates a cluster of agglomerations of atoms made of atoms of the gas; means for ionizing the cluster of agglomerations of atoms; and accelerating means for extracting the ionized cluster of agglomerations of atoms and bombarding it against an object to be treated accommodated in the reaction chamber.

[Claim 4] Dry etching apparatus characterized in comprising a reaction chamber; a gas reservoir that is maintained at a pressure higher than that of the reaction chamber and accommodates a gas including a reactive element; a nozzle that is disposed at an outlet of the gas reservoir, ejects the gas from the gas reservoir into the reaction chamber, and generates a cluster of agglomerations of atoms made of atoms of the gas; means for ionizing the cluster of agglomerations of atoms; means for applying an alternating electric field or an alternating magnetic field, or both of the alternating electric field and the alternating magnetic field to the ionized cluster of agglomerations of atoms; and accelerating means for extracting the ionized cluster of agglomerations of atoms and bombarding it against an object to be treated accommodated in the reaction chamber.

[Detailed Description of the Invention]

[Object of the Invention]

[0001]

[Industrial Field of Application]

The present invention relates to a dry etching method and

apparatus therefor.

[0002]

[Prior Art]

A schematic sectional block diagram of dry etching apparatus that has been widely used in performing micro fabrication in a fabricating process of a semiconductor device is shown in Fig. 4. In Fig. 4, a high frequency electric power 111 is applied to a cathode 102, thereby plasma 104 is generated in a reaction chamber 101 therein a reaction gas is introduced. In addition, a wafer 103 is disposed on the cathode 102, owing to self-bias induced on an anode 102 surface (wafer 103), reactive ions 105 are accelerated from within the plasma and let collide against the wafer 103, and thereby an etching reaction proceeds. A voltage of the self-bias, though dependent on individual conditions such as the gas, RF electric power and so on, a shape of the electrode, and an area ratio of the cathode and anode, in a practical apparatus configuration, is normally induced by 100 eV to 500 eV as an accelerating voltage.

[0003]

It is well known that a so-called reactive ion etching apparatus configured like this has largely contributed in micro fabricating semiconductors. However, as a result of a remarkable advance in the micro fabrication, there are problems as follows even with such excellent apparatus in view

of future device fabrication.

[0004]

First, one of problems is bombardment damage. When processing a gate portion that is an active portion of a MOS device or a portion that is electrically connected to a gate electrode, owing to collision of high-energy ions, various damages are caused. For instance, a metal of an inner wall of the reaction chamber is released into a gas phase owing to a sputtering action, and the released metal is injected into the gate portion. Thereby, an impurity level is newly formed, resulting in a change in operating characteristics of the device.

[0005]

Furthermore, during etching is proceeding, the wafer is direct-currently connected nowhere, that is, in a floating state. Accordingly, owing to emission of electrons, ions, or secondary electrons from the plasma, electric charges are accumulated on the gate electrode. When the accumulation of the electric charges is large, a gate insulating film may be broken down. Recently, since in order to obtain a large capacity with a small area, the insulating film is very thinly formed (for instance, in some cases, a 50 angstrom SiO<sub>2</sub> film may be broken by an application of a potential of only substantially 5 V), the insulating film is likely to be easily broken down. Since all of these are caused from a principle

of this method in which the etching process is forwarded by bombarding charged particles, these are unavoidable in principle.

[0006]

Electrification of electric charges like this may cause, other than the above, an irregularity in an etching shape. That is, as shown in a schematic sectional view of patterns of Fig. 5, a side wall of an end pattern 119 of a portion 117 that has a dense pattern population and is adjacent to a portion 118 that has a less pattern population may be formed in some cases, as shown in the figure, into a tapered pattern (a pattern width becomes wider as going downward) or in other cases in a reverse-tapered pattern (a pattern width becomes narrower as going downward). This is considered that as shown in Fig. 6, each pattern is charged and becomes positive in potential with respect to the substrate, resulting in bending a trajectory of an incident ion. The electrification is not yet well understood. Accordingly, it is not easy to overcome this problem by present technology. Still another problem is a phenomenon called a micro-loading effect.

[0007]

Fig. 7 is a schematic block diagram when a thick film 122 to be etched is etched. In the figure, a base substrate is omitted. When an etching speed is studied while varying separations of a mask 121, the following results are obtained.

when the film 122 of, for instance, poly-silicon or the like is etched by use of a chlorine- or fluorine-based gas, it is found that as a groove width becomes narrower, the etching speed becomes lower. This phenomenon is called a micro loading effect and becomes a serious problem when a fine groove is etched.

[0008]

The micro loading is not caused by a simple reason but caused by complicatedly entangled elements. It is considered that a main reason is in that as the width becomes narrower, an incident amount of etching accelerating ions per unit area decreases. It is considered that in the plasma, ions are randomly moving mainly owing to thermal agitation and slowly moving owing to a weak electric field, and in a sheath, in general, ions are accelerated by a bias voltage and allowed to vertically bombard the wafer. However, in fact, there are many ions that bombard the wafer with an oblique component. Accordingly, as an opening of a pattern becomes narrower and as a depth of the groove becomes deeper, an amount of ions that reach a bottom portion that is an etching surface becomes smaller. Furthermore, neutral active species (mainly halogen element dissociated in the plasma) that are etching species are supplied from the plasma to the substrate only owing to diffusion and thermal agitation. Accordingly, as dispersion of incidence angle to the wafer becomes larger, and as the

groove becomes narrower and deeper, the feed amount becomes smaller, resulting in a decrease in the etching speed.

[0009]

It is attempted to reduce the micro loading effect by aligning directionality of ions by lowering the pressure. However, as the pressure is lowered, owing to a decrease in a plasma density, the etching speed is lowered and the ion energy increases. As a result, an increase in bombardment damage or a lowering of a selection ratio is caused. That is, it does not lead to an essential solution.

[0010]

[Problems that the Invention is to Solve]

Thus, according to the existing dry etching method and apparatus, a micro loading effect where an etching speed varies according to a width of a pattern tends to occur. In addition, there are problems in that owing to an impact of high-energy particles, the bombardment damage tends to be caused, and owing to the electrification of the substrate, an irregularity in a pattern shape is likely to be caused.

[0011]

The present invention has been accomplished in view of the aforementioned situations. It is intended to provide a dry etching method that may eliminate the micro loading effect, cause less bombardment damage and give an excellent etching shape. It is further intended to provide dry etching apparatus

that may be used in implementing the aforementioned dry etching method.

[Constitution of the Invention]

[0012]

[Means for Solving the Problems]

In order to overcome such the problems, the present invention provides a dry etching method that comprises forming clusters of agglomerations of atoms by ejecting a gas including a reactive element from a high pressure region into a low pressure region; ionizing the generated clusters of agglomerations of atoms; and bombarding the ionized clusters of agglomerations of atoms onto an object to be treated, and thereby selectively etching the object to be treated.

[0013]

Furthermore, the present invention provides a dry etching method that comprises forming clusters of agglomerations of atoms by ejecting a gas including a reactive element from a high pressure region to a low pressure region; ionizing the generated clusters of agglomerations of atoms; applying an alternating electric field or an alternating magnetic field, or both of the alternating electric field and the alternating magnetic field to the ionized clusters of agglomerations of atoms; and bombarding the ionized clusters of agglomerations of atoms onto an object to be treated, and thereby selectively etching the object to be treated.

[0014]

Still furthermore, the present invention provides dry etching apparatus that is characterized in comprising a reaction chamber; a gas reservoir that is maintained at a pressure higher than that of the reaction chamber and accommodates a gas including a reactive element; a nozzle that is disposed at an outlet of the gas reservoir, ejects the gas from the gas reservoir into the reaction chamber, and generates clusters of agglomerations of atoms made of atoms of the gas; means for ionizing the clusters of agglomerations of atoms; and accelerating means for extracting the ionized clusters of agglomerations of atoms and bombarding the ionized clusters against an object to be treated accommodated in the reaction chamber.

[0015]

Furthermore, the present invention provides dry etching apparatus that is characterized in comprising a reaction chamber; a gas reservoir that is maintained at a pressure higher than that of the reaction chamber and accommodates a gas including a reactive element; a nozzle that is disposed at an outlet of the gas reservoir, ejects the gas from the gas reservoir into the reaction chamber, and generates clusters of agglomerations of atoms made of atoms of the gas; means for ionizing the clusters of agglomerations of atoms; means for applying an alternating electric field or an alternating

magnetic field, or both of the alternating electric field and the alternating magnetic field to the ionized clusters of agglomerations of atoms; and accelerating means for extracting the ionized clusters of agglomerations of atoms and bombarding the ionized clusters against an object to be treated accommodated in the reaction chamber.

[0016]

The selectively etching an object to be treated means to selectively etch a predetermined region on the object to be treated, and to selectively etch a material to be etched with respect to a substrate material.

[0017]

Thus, in the method and apparatus of the present invention, a cluster of reactive atoms in which 10 to several thousands of reactive atoms are loosely combined is charged, extracted by a low accelerating energy, and thereby forming a cluster ion beam. The extracted cluster ion beam is less-dispersively transferred to a substrate to be etched and allowed to vertically bombard it and etch.

[0018]

As the reactive elements that can be used in the present invention, halogen, oxygen, hydrogen, and nitrogen can be cited. Furthermore, with a plurality of different kinds of elements as the reactive elements, a plurality of kinds of clusters of agglomerations of atoms may be formed. These may

be simultaneously, individually, or alternately with a definite period bombarded against the object to be treated. In this case, a composition ratio of the different kinds of element may be arbitrarily set. In order to control a chemical reaction on a surface of the object to be treated, it is preferable to have a substrate temperature control function.

[0019]

[Operation]

The cluster ion beam technique applied in the present invention has been so far developed with an intention to apply to deposition technique. Accordingly, generation and control technique themselves have been established to a certain extent (reference literature: Takagi et. al., OYOBUTURI, vol.55, No.8, 1986, pp 746). In the present invention, the technique is for the first time applied to the etching technique.

[0020]

According to the present invention, by use of a cluster ion beam that is vertically bombarded, a necessary etching gas can be supplied into a fine groove always by the same amount irrespective of its groove width. Accordingly, any patterns can be etched with the same etching speed and into the same shape.

[0021]

In the cluster ion beam, since a cluster of many atoms is charged with mono-valence or substantially several-valence,

and an electrical charge that is practically given to the substrate is smaller with respect to the number of the supplied atoms, the substrate itself is charged with difficulty. Accordingly, an irregularity in the etching shape, which is considered caused by bending of the incident ions due to electrification of a mask material made of an insulating material or a film to be etched, is not caused.

[0022]

Furthermore, from the same reason, even when the beam is accelerated to several kilo volts and bombarded onto the substrate, since the energy that each atom has is extremely low, the bombardment damage may be reduced. Since the beam can be accelerated with such a high voltage, a less-dispersed and excellently collimated beam can be vertically bombarded onto the wafer. Accordingly, irrespective of the groove width, the atoms can be supplied with the same density onto a surface whose etching is proceeding. Still furthermore, since acceleration is high and a mass is also large, (even when the substrate is charged) the electrification of the substrate is not likely to affect. Furthermore, even when a relatively low pressure is used in fabricating with high precision, since many etching species can be supplied onto the etching surface, a high-speed etching may be realized.

[0023]

[Embodiments]

In the following, with reference to the drawings, embodiments of the present invention will be explained.

[0024]

Fig. 1 is a diagram schematically showing etching apparatus of the present invention according to one embodiment. In Fig. 1, in a vacuum chamber 1, there is disposed a susceptor 2 and a wafer 3 is disposed on the susceptor. At an upper portion of the vacuum chamber 1, a gas reservoir 4 is disposed. The gas reservoir 4 is used to introduce a reactive gas that is used in etching. At an outlet of the gas reservoir 4, a nozzle plate 5 is attached. The nozzle plate 5 is provided with lots of nozzles that eject the gas and generate clusters. Under the nozzle plate 5, there are disposed a hot-filament electron gun 6 that is an electron source for ionizing the clusters and an electrode 7 for accelerating the ionized clusters. In the figure, reference numerals 8 and 9 denote gas feed systems, and reference numeral 10 denotes a direction to be evacuated. In addition, a bias electric power is applied from a power supply unit 11 to the susceptor 2, and a substrate temperature is controlled through a conduit 12 connected to a temperature controller. Next, an actual procedure of the etching due to the aforementioned etching apparatus will be explained.

[0025]

The wafer 3 is transferred onto the susceptor 2 in the vacuum chamber 1 by means of a load lock unit (not shown in the figure).

In the present invention, in order to enable to process in a high vacuum, the load lock unit is indispensable. In order to effectively generate the clusters by making use of the adiabatic expansion of the gas, it is necessary for the pressure difference (pressure ratio) between the insides of the vacuum chamber 1 and the reservoir 4 to be in the range of  $10^{-4}$  to  $10^{-5}$  Torr. On the other hand, it is better for the etching to be carried out at  $10^{-4}$  Torr level or less where a mean free path of the gas is sufficiently long. Accordingly, after the vacuum chamber is sufficiently evacuated, the reactive gas, for instance, a chlorine gas ( $\text{Cl}_2$ ), is introduced into the reservoir 3 up to a pressure of several Torrs.

[0026]

A diameter of the nozzle 5 is formed into substantially 1 mm. The inside of the vacuum chamber is evacuated and maintained at  $10^{-4}$  Torr level. The reactive gas passed through the nozzle 5 is rapidly cooled owing to the adiabatic expansion, and thereby the clusters are formed. Since the clusters are electrically neutral, at this stage, the clusters are ionized by an electron beam emitted from the hot-filament electron gun 6. One cluster that is made of several thousands of atoms is given an electric charge of only substantial mono-valence or bi-valence. Accordingly, an amount of the electric charge an atom is practically very small.

[0027]

The ionized clusters are accelerated by a voltage applied between the electrode 7 and the reservoir 4, passes through the mesh electrode 7 and are bombarded onto the wafer 3 surface. The accelerating voltage of the ions can be appropriately selected in the range of 100 ev to several kilo electron volts according to individual processes and the material to be etched.

[0028]

Thus accelerated cluster, even when accelerated by 1 KeV, when it is an agglomeration of 1000 atoms, has a practical accelerating voltage of 1 ev per one atom. It is a very low value where there are no worries of the bombardment damage or the like. Accordingly, since without worrying about the bombardment damage, the beam can be bombarded with a high accelerating voltage, the directionality of the cluster beam can be excellently controlled. That is, since irrespective of the groove width, a definite amount of the etching species (cluster) can be supplied to the etching surface, there is not caused the micro loading effect.

[0029]

Furthermore, although the etching is performed under a relatively low pressure, since many etching species can be supplied onto the etching surface, a high-speed etching may be realized. Actually, silicon substrates on a surface of which a mask such as SiO<sub>2</sub>, or the like is formed were etched

by use of a chlorine gas and relationship between groove-width and etching depth was studied. Results are shown in Fig. 2. The RIE used as a comparison was a generally used parallel plate type and a chlorine gas pressure was 2 mTorr. The cluster beam etching was performed with the apparatus 1 shown in Fig. 1 and under a gas pressure of 0.1 mTorr. The beam was bombarded onto an entire substrate surface. Each etching depth in Y-axis shows an etching depth normalized to that of a sufficiently broad groove.

[0030]

As obvious from Fig. 2, although in the case of the standard RIE, the etching depth rapidly decreases at the groove width of 0.5  $\mu\text{m}$  or less, in the case of the cluster beam, the decrease is small. Furthermore, as a result of the evaluation of the etching shapes, it was found that the tapering of the pattern that is considered due to the electrification was not at all observed. Still furthermore, when the bombardment damage was evaluated, in the experimental apparatus, owing to a larger exposed metal portion, a decrease in metal contamination could not be accomplished. However, as to electrical damages, such as insulation breakdown, change of transistor threshold value and so on, similarly to down-flow etching apparatus as a reference (etching is carried out by use of neutral species alone), there was not observed any damage. Next, another embodiment of the present invention will be explained.

[0031]

Reference numeral 13 in Fig. 1 denotes a gas feed port for introducing other gas 9 without allowing passing through the nozzle. By introducing other gas 9 from the gas feed port 13, for instance, the neutral etching species or etching products in a gas phase can be scavenged (removed), isotropic etching is prevented from occurring, and the etching products can be prevented from reattaching. More specifically, when the etching is performed with a chlorine gas as the reaction gas, by introducing hydrogen or a gas containing hydrogen from the gas feed port 13, the chlorine atoms that are not yet clustered or generated by decomposition after the cluster beam collides against the substrate can be prevented from performing the isotropic etching. By disposing means for activating the gas before the gas feed port 13, the aforementioned action can be further expedited.

[0032]

In view of an easiness in temperature control, the substrate 3 is preferably fixed onto the susceptor 2 by use of an electrostatic chuck. However, when a direct current is applied to the substrate 3, it is necessary to use a mechanical chuck. Fig. 3 is a diagram showing etching apparatus of the present invention according to still another embodiment.

[0033]

In the etching apparatus shown in Fig. 3, the reservoir 4,

which is structured longer in a direction vertical to a paper surface than a wafer diameter, generates a band of cluster beam. The generated cluster enters an electron cloud 14 and is ionized there. Electrons in the electron cloud 14 are extracted from the plasma 20 by the electron source 6. In this case, energy of the electron is set at approximately 100 ev that is high in ionizing efficiency.

[0034]

The ionized clusters pass through the meshed extracting electrode 7 and enter between deflection electrodes 15. The band of the cluster beam is scanned from side to side on the paper surface by an alternating electric field E established by the deflection electrodes 15. Reference numeral 23 schematically shows a trajectory of a cluster beam. In addition, the deflection electrodes 15 can be endowed with a mass filter action by giving an alternating magnetic field 22 perpendicular to the electric field 16. That is, the mass of the cluster that is bombarded onto the wafer 3 can be appropriately selected, and the etching species can be controlled in such that the clusters that are small in the number of the particles may be removed, and so on.

[0035]

The deflected beam is accelerated in a direction vertical to the wafer 3 surface by accelerating electrodes 17 and 18 and bombarded against the wafer 3. The accelerating electrode

17 is set at the same potential as the extracting electrode 7 and furthermore so as to give an acceleration of substantially 100 V with respect to the reservoir 4 and the electrode 14 of the electron source. Furthermore, when an alternating potential that vibrates with a potential of the extracting electrode 7 at its center is given, since an interaction between the electrodes can be made less, the beam can be suppressed from getting out of order. A voltage lower by from several hundreds to several thousands volts with respect to the accelerating electrode 17 is applied to the accelerating electrode 18, thereby a cluster beam small in dispersion of angle and excellent in directionality can be supplied onto the wafer 3.

[0036]

Thus, according to the etching method of the present invention, owing to high acceleration of the cluster beam and a smaller electric charge an atom of the cluster, the wafer 3 is less charged and the beam is not likely to be affected. Furthermore, as an anti-static measure, electrons can be supplied from a low-speed electron source 19 to the wafer 3. Still furthermore, when a conductive film is etched, by applying a direct current voltage to the wafer 3, the shape and etching characteristics can be controlled.

[0037]

In the above, embodiments of the present invention are shown.

However, the present invention, without restricting to the aforementioned embodiments, can be variously modified. For instance, although in the above embodiments, the cluster ion beam is bombarded onto an entire substrate surface thereon a mask is formed, without using a mask, a selective bombardment can be performed. In addition, in the apparatus according to the above embodiments, the reservoir, nozzle, extracting electrode and wafer are arranged from top down on a straight line. However, in consideration of the contamination from the nozzle and electrodes, a portion above from the extracting electrode can be disposed on a sidewall surface of the vacuum chamber. Furthermore, materials of individual portions have to be selected in consideration also of the etchant so as to be free from contamination due to metals and organic substances. Still furthermore, in the neighborhood of the nozzle, since the gas is allowed expanding adiabatically, cooling down, and clustering, a temperature of a nozzle plate gradually goes down. This may cause change in characteristics with time. Accordingly, it is better to provide the nozzle plate with a temperature control unit that controls the temperatures by means of a heater and so on. Furthermore, an entire reaction chamber may be preferably temperature-controlled.

[0038]

Still furthermore, a plurality of nozzles may be prepared

for each of a plurality of gases, thereby each gas may be independently introduced into the reaction chamber and formed into the clusters. The plurality of different gases may be ejected in pulse from the respective nozzles, and mechanism by which the period thereof may be synchronously or asynchronously controlled may be provided. In addition, by providing the nozzle with a piezo-valve made of a piezoelectric element, mechanism that speedily repeats opening and shutting can be provided. Furthermore, means for bombarding a low-speed electron beam onto the substrate to be etched may be provided, and means for forming the plasma in the neighborhood of the substrate to be etched may be provided.

[0039]

[Advantage of the Invention]

As explained above, according to the method of the present invention, the cluster ion beam whose electric charge an atom is small and that is highly accelerated is bombarded, and thereby the etching is performed. Accordingly, a fine pattern may be etched, without accompanying the micro loading effect, with the excellent shape. Furthermore, without causing the bombardment damage due to the high-energy beam and generating irregularity in the pattern shape due to the static-buildup, the processing can be performed. Still furthermore, since the processing in a low vacuum is made possible, an under cut due to the neutral active atoms is not caused.

[Brief Explanation of the Drawings]

[Fig. 1]

Fig. 1 is a diagram schematically showing etching apparatus used in one embodiment of the present invention.

[Fig. 2]

Fig. 2 is a characteristic diagram showing relationship between etching groove width and etching depth in an etching method according to one embodiment of the present invention in comparison with that of RIE.

[Fig. 3]

Fig. 3 is a diagram schematically showing etching apparatus used in another embodiment of the present invention.

[Fig. 4]

Fig. 4 is a diagram schematically showing existing etching apparatus.

[Fig. 5]

Fig. 5 is a diagram for explaining problems in the existing etching apparatus.

[Fig. 6]

Fig. 6 is a diagram for explaining problems in the existing etching apparatus.

[Fig. 7]

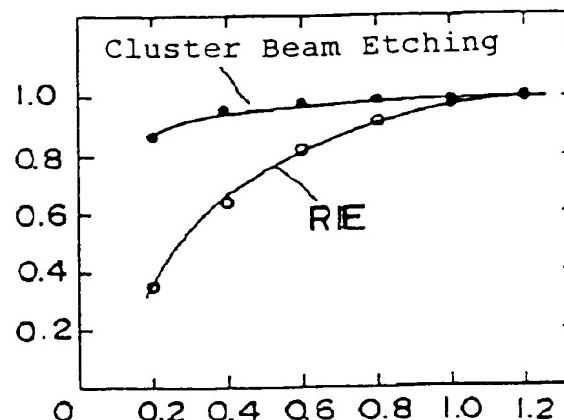
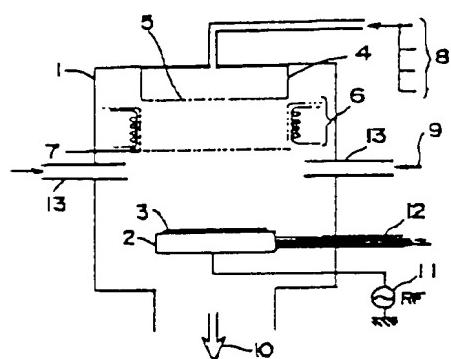
Fig. 7 is a diagram for explaining problems in the existing etching apparatus.

[Description of the Reference Numerals and Signs]

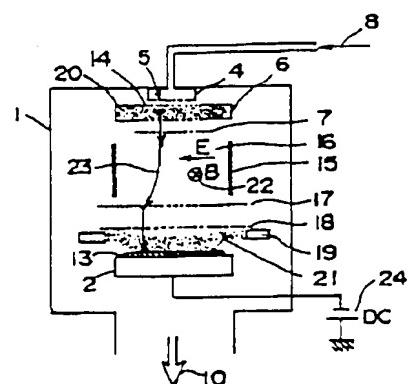
1 --- vacuum chamber  
2 --- susceptor  
3 --- wafer  
4 --- gas reservoir  
5 --- nozzle plate  
6 --- hot-filament electron gun  
7 --- electrode  
8 and 9 --- gas feed unit.

[Fig. 2]

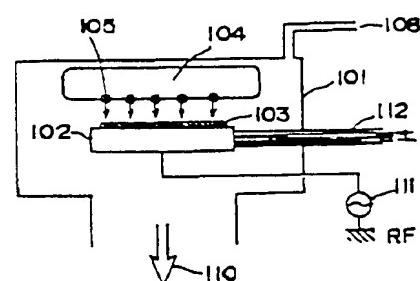
[Fig. 1]



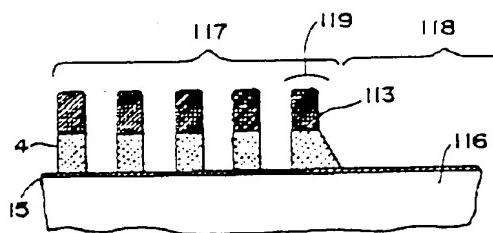
[Fig. 3]



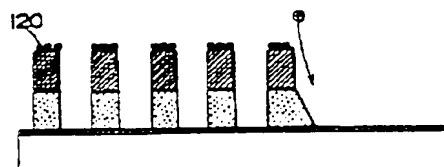
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



[Fig. 7]

